

[TITLE OF THE INVENTION] OPTICAL TRANSMITTER/RECEIVER  
MODULE

[ABSTRACT]

[Configuration]



An optical transmitter/receiver module is provided with a planar optical waveguide circuit for passing an optical signal with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , and for transmitting/receiving an optical signal with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$ . A dielectric multilayer film filter is mounted perpendicularly to a reference plane of the planar optical waveguide circuit. A single-mode optical waveguide comprises a first input/output optical waveguide one end of which is connected to a first optical fiber connection portion, and a second input/output optical waveguide one end of which is connected to a second optical fiber connection portion, and the other end of which is branched from the first input/output optical waveguide at the surface of the dielectric multilayer film filter or in the periphery thereof at a branch angle of 15 to 25 degrees. The first input/output optical waveguide is branched into a Y-shape on the side where the second input/output optical waveguide is not provided relative to the dielectric multilayer film filter, and a laser diode or a photodiode is connected to each of the branched optical waveguides.

[Advantageous Results]

A low-cost and compact optical transmitter/receiver module can be implemented.

[SCOPE OF CLAIM FOR A PATENT]

[Claim 1]

An optical transmitter/receiver module for passing an optical signal with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , and for transmitting/receiving an optical signal with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$ ,

wherein said module is a planar optical waveguide circuit having a single-mode optical waveguide, a laser diode, a photodiode, a dielectric multilayer film filter, and first and second optical fiber connection portions, said dielectric multilayer film filter being mounted substantially perpendicular to a reference plane of said planar optical waveguide circuit,

wherein said single-mode optical waveguide comprises,

a first input/output optical waveguide one end of which is connected to said first optical fiber connection portion; and

a second input/output optical waveguide one end of which is connected to said second optical fiber connection portion, and the other end of which is branched from said first input/output optical waveguide at the surface of said dielectric multilayer film filter or at a point at a distance

of 8 $\mu$ m or less from the surface at a branch angle of 15 to 25 degrees with a normal to said dielectric multilayer film filter being the center line:

wherein said first input/output optical waveguide is branched into a Y-shape on the side where said second input/output optical waveguide is not provided relative to said dielectric multilayer film filter, and said laser diode or said photodiode is connected to each of said branched optical waveguides.

[Claim 2]

The optical transmitter/receiver module as claimed in claim 1, wherein said first and second optical fiber connection portions are integrated as a double-core optical fiber array connection portion.

[Claim 3]

The optical transmitter/receiver module as claimed in claim 1 or 2, wherein a groove is provided on the surface of said planar optical waveguide circuit, and said dielectric multilayer film filter is fixed to the groove with a silicone adhesive.

[Claim 4]

The optical transmitter/receiver module as claimed in any one of claims 1 to 3, wherein there is a clearance

of  $1\mu\text{m}$  to  $5\mu\text{m}$  between said first and second input/output optical waveguides in an intersection portion of said two input/output optical waveguides.

[Claim 5]

The optical transmitter/receiver module as claimed in any one of claims 1 to 4, wherein a marker for groove processing is provided on the surface of said planar waveguide circuit in a position apart from a position where the groove is provided.

[Claim 6]

The optical transmitter/receiver module as claimed in any one of claims 1 to 5, wherein widths of said first and second input/output optical waveguides are larger in the periphery of their branch point than in any other point.

[Claim 7]

The optical transmitter/receiver module as claimed in any one of claims 1 to 6, wherein said Y-shaped branched portion is at said dielectric multilayer film filter.

[Claim 8]

The optical transmitter/receiver module as claimed in any one of claims 1 to 7, wherein a dielectric multilayer film filter for cutting off light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  is inserted into said second input/output optical waveguide.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of Industrial Application]

The present invention relates to an optical component for optical communications, and more specifically, a module for transmitting/receiving an optical signal as an optical subscriber terminal (for home use).

[0002]

[Prior Art]

Recently, construction of an optical fiber network to each home has been seriously considered with the aim of substantially reducing the cost of high-capacity communications for video signals and data for personal computers etc. One of the main problems facing such construction is a cost of an optical transmitter/receiver module for installation in each home. Conventionally, optical communications has been used in an office etc. which communicate high-capacity signals. There has been a demand for an optical transmitter/receiver module for such use even if its cost is on the order of one million yen. However, if the cost of an optical transmitter/receiver module for installation in each home is not reduced to the order of 10,000 yen, it cannot be expected that the optical transmitter/receiver module is

widely used in homes. Against this background, development of a low-cost optical transmitter/receiver module for installation in each home has been currently vigorously carried out.

[0003]

Most of conventional optical transmitter/receiver modules use micro optical components such as a lens. In that case, most of the costs arise from an alignment process for each component. Thus, the inventors have so far tackled development of an optical transmitter/receiver module which uses a planar lightwave circuit (PLC) comprising less components. Fig. 16 shows a previously fabricated optical transmitter/receiver module. The details are set forth in "Optical Module with a Silica-Based Planar Lightwave Circuit for Fiber-Optic Subscriber Systems", H. Terui et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 4, 1992, pp. 660-662. Its configuration and principle will be briefly described below.

[0004]

An input-side single-mode optical fiber 10A and an output-side single-mode optical fiber 10B are fixed to a planar lightwave circuit 1 with glass blocks 9A, 9B, respectively. More specifically, the optical fibers 10A, 10B are inserted and fixed into the grooves provided in

the glass blocks. The glass blocks 9A, 9B are attached and fixed to the planar lightwave circuit 1 such that the optical axes of the optical fibers 10A, 10B are aligned with that of optical waveguides 24, 25. Light incident from an input port 24A enters a Mach-Zehnder interferometer type wavelength multiplexer/demultiplexer using two directional couplers 24B, 24C, whereby light in the  $1.3\mu\text{m}$  band is output to a through port, and light in the  $1.55\mu\text{m}$  band is output to a cross port. The light in the  $1.55\mu\text{m}$  band output to the cross port is coupled to the single-mode optical fiber 10B at the end of the waveguide as it is, so that the light is output to the external. On the other hand, the light in the  $1.3\mu\text{m}$  band output to the through port of the wavelength multiplexer/demultiplexer is branched into two in a Y-branch 6, and individually coupled to a laser diode 7 and a photodiode 8. The laser diode 7 is provided for transmitting a signal which is transmitted from a receiver. The photodiode 8 is provided for converting a received optical signal into an electrical signal.

[0005]

Here, the light in the  $1.55\mu\text{m}$  band is used for e.g. distributing multichannel video signals from a telephone office to the households. The light in the  $1.3\mu\text{m}$  band is



used for two-way communications of various data signals. Thus, the cost of a receiver module for the 1.55 $\mu$ m band is high because of reception of high-capacity signals. A currently desired optical transmitter/receiver module is first of all, the one which can transmit/receive various data signals. Thus, the efforts have been directed to a low-cost module capable of transmitting/receiving only relatively-low-speed optical signals in the 1.3 $\mu$ m band with a high-cost optical receiver for the 1.55 $\mu$ m band provided externally. In this regard, light in the 1.55 $\mu$ m band transmits high-capacity signals. Thus, when light in the 1.55 $\mu$ m band is output from an optical transmitter/receiver module, it is necessary to use a single-mode optical fiber. Also, since a time-divided up and down link ping-pong transmission scheme is used for an optical signal in the 1.3 $\mu$ m band, limitation on the near end reflection is not severe.

[0006]

[Problems to Be Solved by the Invention]

As set forth above, we have so far developed an optical transmitter/receiver module using a PLC as a low-cost optical terminal for home use. The main problems with this lie in a size of a module and costs of connection between an optical fiber and a PLC. In the configuration

of Fig. 16, since the input optical fiber 10A for the 1.3 $\mu$ m band and the 1.55 $\mu$ m band and the output optical fiber 10B for the 1.55 $\mu$ m band are disposed on the end faces of the PLC 1 opposite to each other, the size of the entire module becomes large. In addition, there is another problem that a connection between the optical fiber and the PLC must be made twice.

[0007]

[Means for Solving the Problems]

In view of the above, according to the present invention, two input/output fibers are disposed on the same end face, not on end faces opposite to each other to reduce a size of an optical transmitter/receiver module. For that purpose, a wavelength multiplexer/demultiplexer of a PLC is configured to pass light with wavelength of 1.3 $\mu$ m, and reflect light with wavelength of 1.55 $\mu$ m. More specifically, a dielectric multilayer film filter is inserted into waveguide at a given angle passing light with wavelength of 1.3 $\mu$ m through the filter and reflecting light with wavelength of 1.55 $\mu$ m at the filter, thereby separating light with two wavelengths.

[0008]

Conventionally, a wavelength multiplexer/demultiplexer using reflection by a

dielectric multilayer film filter has been reported using fibers and waveguides. For example, see "Filter-Embedded Design and Its Applications to Passive Components." H. Yanagawa et al., J. Lightwave Technol., Vol. 7, 1989, pp. 1646-1653. However, in most of them, reflected light is received by a multimode optical fiber or a multimode optical waveguide. Only a few reports (if any) can be found wherein reflected light is coupled to a single-mode optical waveguide as in the present invention. This is because it has been very difficult to couple light reflected at a dielectric multilayer film filter to a single-mode optical waveguide. The present invention is directed to effectively coupling light reflected at a filter to a single-mode optical waveguide, and to experimentally obtaining an optimum condition for an adhesive adapted for mounting of a laser diode and a photodiode.

[0009]

According to the present invention, an optical transmitter/receiver module for passing an optical signal with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , and for transmitting/receiving an optical signal with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  is provided,

wherein the module is a planar optical waveguide circuit having a single-mode optical waveguide, a laser diode, a photodiode, a dielectric multilayer film filter,

and first and second optical fiber connection portions, the dielectric multilayer film filter being mounted substantially perpendicular to a reference plane of the planar optical waveguide circuit,

wherein the single-mode optical waveguide comprises,

a first input/output optical waveguide one end of which is connected to the first optical fiber connection portion; and

a second input/output optical waveguide one end of which is connected to the second optical fiber connection portion, and the other end of which is branched from the first input/output optical waveguide at the surface of the dielectric multilayer film filter or at a point at a distance of  $8\mu\text{m}$  or less from the surface at a branch angle of 15 to 25 degrees with a normal to the dielectric multilayer film filter being the center line:

wherein the first input/output optical waveguide is branched into a Y-shape on the side where the second input/output optical waveguide is not provided relative to the dielectric multilayer film filter, and the laser diode or the photodiode is connected to each of the branched optical

waveguides.

[0010]

The first and second optical fiber connection portions may be integrated as a double-core optical fiber array connection portion.

[0011]

A groove may be provided on the surface of the planar optical waveguide circuit, and the dielectric multilayer film filter may be fixed to the groove with a silicone adhesive.

[0012]

There may be a clearance of  $1\mu\text{m}$  to  $5\mu\text{m}$  between the first and second input/output optical waveguides in an intersection portion of the two input/output optical waveguides.

[0013]

A marker for groove processing may be provided on the surface of the planar waveguide circuit in a position apart from a position where the groove is provided.

[0014]

Widths of the first and second input/output optical waveguides may be larger in the periphery of their branch point than in any other point. The Y-shaped branched portion may be at the dielectric multilayer film filter.

[0015]

A dielectric multilayer film filter for cutting off light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  may be inserted into the second input/output optical waveguide.

[0016]

[Effects]

Since the optical transmitter/receiver module of the present invention is configured so that the input and output optical fibers are disposed on the same end face of the PLC, the entire size becomes small, and a connection between the PLC and the optical fiber can be completed in one operation. As a result, an optical transmitter/receiver module which is lower-cost and more compact than before can be realized.

[0017]

[Embodiments]

Referring to the accompanying drawings, embodiments of the present invention will be described in detail below.

[0018]

First Embodiment

In the present embodiment, an optical transmitter/receiver module is fabricated by combining a silica-based planar lightwave circuit (PLC) fabricated by depositing silica-based glass on a silicone substrate, a

double-core optical fiber array comprising a pair of optical fibers, and a laser diode and a waveguide-type photodiode, the diodes being designed such that their mode fields at an output end face match those of single-mode optical fibers. The silica-based planar lightwave circuit is fabricated on a silicone substrate by flame hydrolysis deposition and reactive ion etching. Thus, a low-loss optical waveguide circuit having excellent compatibility with a single-mode optical fiber is realized. The details are set forth in Masao Kawachi, "Planar Lightwave Circuit", the Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol. 113-C, No. 6, 1993. In addition, an optical connection between the PLC and the laser diode (or the photodiode) is made by a silicone terrace which is on a PLC substrate. The details are set forth in Y. Yamada et al., Electron. Lett., Vol. 29, 444, 1993.

[0019]

Fig. 1 shows a configuration of the PLC 30 of the present embodiment. In addition, Fig. 2 is an enlarged cross-sectional view taken along a line AA' of Fig. 1, and Fig. 3 is an enlarged cross-sectional view taken along a line BB' of Fig. 1.

[0020]

Cores 2, 3, and 2' are formed on a silicone substrate 11, and covered by a cladding 12, thereby constituting single-mode optical waveguides 2, 3, and 2'. A relative refractive-index difference between the core and the cladding is 0.75%, and the core is 7 $\mu$ m square in cross section. A groove 4 is provided in the periphery of the position where the optical waveguides 2, 3 intersect each other. A dielectric multilayer film 5 is inserted into the groove, and fixed with an adhesive 13. An optical axis of the optical waveguide 2' formed on the opposite side of the dielectric multilayer film 5 from the optical waveguides 2, 3 is aligned with that of the optical waveguide 2. The optical waveguide 2' forms a part of the optical waveguide 2.

[0021]

In the planar lightwave circuit 3, an input single-mode optical fiber 10A and an output optical fiber 10B are coupled to the optical waveguides 2, 3 with a fixing glass block 9B with the optical axes of the optical fibers being aligned to that of the optical waveguides, respectively. A distance between input/output ports 2A and 3A is 250 $\mu$ m.

[0022]

Light with multiplexed wavelengths of 1.3 $\mu$ m and



1.55 $\mu$ m from the optical fiber 10A becomes incident on the first input/output optical waveguide 2 through the first input/output port 2A. The light with wavelength of 1.55 $\mu$ m is reflected at the dielectric multilayer film filter 5; and output to the single-mode optical fiber 10B through the second input/output optical waveguide 3. The light with wavelength of 1.3 $\mu$ m passes the dielectric multilayer film filter 5, and is branched into two in a Y-branch 6, and individually coupled to a laser diode 7 and a photodiode 8 as in the conventional art of Fig. 16.

[0023]

The dielectric multilayer film filter 5 is designed such that light with wavelength of 1.3 $\mu$ m passes the filter, and light with wavelength of 1.55 $\mu$ m reflects at the filter. Actually, SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> were alternately evaporated on a polyimide thin film with thickness of 7 $\mu$ m to form a multilayer with thickness of 9 $\mu$ m, so that the entire thickness of the filter was 16 $\mu$ m. On the other hand, the groove for insertion of the filter was formed by processing with a dicing saw, so that the width of the groove was 18 $\mu$ m, and the depth of the groove was 200 $\mu$ m. The reason why the width of the groove was 18 $\mu$ m was that a clearance needed to be small in order to mount the filter with thickness of 16 $\mu$ m as perpendicularly as possible to the substrate.

A groove with width of  $17\mu\text{m}$  to  $20\mu\text{m}$  is suitable for the case where a filter with thickness of  $16\mu\text{m}$  is used. In addition, if possible, it is preferable that the groove has a large depth since a shallow groove makes the filter tend to incline. However, when the depth of the groove is increased, the opening of the groove tends to be widened by processing. Thus, it is appropriate that the depth of the groove is in the range from  $100\mu\text{m}$  to  $300\mu\text{m}$ .

[0024]

In the present embodiment, after the groove is formed by processing with a commercially available dicing saw, the filter is inserted and fixed into the groove with a silicone adhesive. Although the silicone adhesive has generally the adhesive strength than that of an epoxy adhesive about two orders of magnitude lower, the reason the silicone adhesive is used for fixing the filter is as follows. In the optical transmitter/receiver module of the present embodiment, the laser diode and the photodiode are fixed with AuSn solder after the filter is mounted. Thus, it is necessary to increase the temperature up to about  $300^{\circ}\text{C}$ . At this temperature, the epoxy adhesive deteriorates, and contracts greatly. Then, the adhesive in the groove peels off. As a result, reflection increases up to a level which does not conform to specifications for

an optical transmitter/receiver module. In contrast, while the silicone adhesive has low adhesive strength, it does not deteriorate at all at the temperature of about 300° C, so that the adhesive does not peel off. Low adhesive strength is acceptable since external force is not applied to the portion by which the filter is fixed into the groove. Thus, the present embodiment uses the silicone adhesive for fixing the filter. Actually, a groove was formed perpendicularly to a straight waveguide by processing. After the above dielectric multilayer film filters were fixed individually with an epoxy adhesive or a silicone adhesive, reflection of light with wavelength of 1.3 $\mu$ m at the filter was measured before and after heat processing at 300° C for 10 minutes. Table 1 shows the results. The heat processing did not cause change in reflection in the case where the silicone adhesive was used, whereas reflection increased greatly in the case where the epoxy adhesive was used. It was because the epoxy adhesive contracted at high temperature of 300° C as set forth above.

[0025]

[Table 1]

	RETURN LOSS BEFORE HEAT PROCESSING AT 300° C FOR 10 MINUTES	RETURN LOSS AFTER HEAT PROCESSING AT 300° C FOR 10 MINUTES
EPOXY ADHESIVE	21dB	5dB
SILICONE ADHESIVE	20dB	20dB

[0026]

There are uncertain factors about design of a waveguide in the periphery of the filter-inserted portion. Thus, the design was experimentally obtained. Fig. 4 shows an enlarged view of the periphery of the filter-inserted portion. Here, a slit 17 with width of 2 $\mu$ m was provided between the first input/output optical waveguide 2 and the second input/output optical waveguide 3. It was directed to preventing bubbles and coarse glass portion from being generated in the intersection portion of the two optical waveguides 2, 3 in the process for covering the core with an upper cladding glass after patterning of the core. Actually, when the slit 17 was not provided, bubbles were occasionally generated in the intersection portion of the two optical waveguides. The

probability that bubbles occurred became high as the intersection angle  $\theta$  between the two optical waveguides 2, 3 became small (about 10 degrees). The slit with width of 2  $\mu\text{m}$  provided an escape for bubbles, and allowed the upper cladding glass to totally fill a narrow gap. It is appropriate that the width of the clearance 17 is in the range from 1 $\mu\text{m}$  to 5 $\mu\text{m}$  which is larger than resolution of a mask, and which makes an optical loss almost negligible.

[0027]

Next, optimal values for the intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides 2, 3 and the position of the groove 4 for insertion of the dielectric multilayer film filter 5 were experimentally obtained. Fig. 5 shows a graph with a loss of light with wavelength of 1.55 $\mu\text{m}$  passing from the input/output port 2A to the input/output port 3A on the vertical axis, and distance  $x$  between an intersection point of center lines 14, 15 of the two input/output optical waveguides 2, 3 and center line 16 of the groove 4 on the horizontal axis. Here, the intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides 2, 3 was 20 degrees. It can be seen from this graph that that the distance  $x$  between the intersection point of the center lines 14, 15 of the two input/output optical waveguides 2, 3 and the center line of the groove

is optimally in the range of  $4 \pm 4\mu\text{m}$ . Since the position of the center line 16 of the groove 4 depends on the thickness of the filter 5, and the width of the groove 4, the distance  $x$  can be converted into distance between the intersection point of the center lines of the two input/output optical waveguides and the surface of the filter which is optimally in range of  $-4 \pm 4\mu\text{m}$  (from  $0\mu\text{m}$  to  $-8\mu\text{m}$ ). In the present embodiment, this value was used for forming the groove for insertion of the filter by processing.

[0028]

As can be seen from Fig. 5, the position of the groove greatly affects a loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ . In the present embodiment, a groove marker was formed on the surface of the upper cladding glass by deposition of a metal thin film to achieve excellent reproducibility of the position of the groove. The reason why the metal thin film was used for forming the marker was that the marker of the metal thin film was easily seen as compared with that of core glass. Since the process for forming a metal thin film was also used for electrical wiring of the laser diode and the photodiode, the processes were simplified by carrying out both processes simultaneously. Here, it should be noted that there arose the problems that when

the marker made by the metal thin film was on the surface of the waveguide, processing of that portion with the dicing saw caused the metal to adhere to the inner wall of the processed groove, and caused the tooth of the dicing saw to be clogged with the metal, thereby decreasing the processing accuracy. In order to solve these problems, in the present embodiment, the marker made of the metal thin film was formed in a position shifted by  $-50\mu\text{m}$  from the center line of the groove. A commercially available dicing saw has a function of shifting a cutting position accurately. Thus, the dicing saw was positioned according to the marker made of the metal thin film, and then, shifted a cutting position by  $50\mu\text{m}$  and carried out the groove processing. Fig. 6 shows a figure illustrating the marker 18. In the present embodiment, Au was used for the metal thin film for the marker.

[0029]

Losses of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  with respect to the position of the groove were experimentally obtained by varying an intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides 2, 3. Fig. 7 shows the results. As the intersection angle  $\theta$  becomes larger, an excess loss caused by the displacement of the groove becomes larger. It can be seen from these results that

decreasing the intersection angle  $\theta$  is effective in relaxing tolerance for a processing error in the position of the groove. Fig. 8 shows a graph with an amount of a groove displacement allowing an excess loss caused by the groove displacement to be 0.5dB on the vertical axis, and an intersection angle on the horizontal axis. It can be seen that it is preferable that the intersection angle is 25 degrees or less in view of the fact that a positional accuracy of a dicing saw for groove processing is about  $3\mu\text{m}$ . Further, Fig. 9 shows a graph with a return loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  at the first input/output port 2A on the vertical axis, and an intersection angle  $\theta$  on the horizontal axis. It can be seen from this graph that as the intersection angle  $\theta$  becomes larger, a return loss becomes larger. When an analog signal is used for light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , it is desired that the return loss is 30dB or more. Thus, it is preferable that the intersection angle  $\theta$  is 15 degrees or more. As set forth above, from the viewpoint of the positional accuracy of the groove for insertion of the filter and the return loss, it is appropriate that the intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides 2, 3 is in the range of 15 to 25 degrees.



[0030]

In the optical transmitter/receiver module of the present embodiment thus fabricated, an insertion loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  from the first input/output port 2A to the second input/output port 3A, including a splice loss with the single-mode fiber was 1.5dB. In addition, its return loss was 38dB. Further, an insertion loss from the first input/output port 2A to the photodiode 8, including a principle loss of the Y-branch 6 of 3dB was 3.8dB.

[0031]

#### Second Embodiment

As set forth in First Embodiment, an excess loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  largely depends on the positional accuracy of the groove for insertion of the filter. In the present embodiment, the width of the waveguide was enlarged in the periphery of the waveguide intersection portion to relax the tolerance for its positional accuracy. Fig. 10 shows an enlarged view of the intersection portion. Reference numerals 2B, 3B, and 2'B denote enlarged portions of the optical waveguides 2, 3, and 2', respectively. The width of the waveguide was  $7\mu\text{m}$  except in the intersection portion. The width was varied gradually as approaching to the intersection

portion, and was in the range from  $6\mu\text{m}$  to  $12\mu\text{m}$  in the intersection portion. Fig. 11 shows calculation results obtained by varying an intersection angle in the range from 10 to 40 degrees with the width of the waveguide in the intersection portion on the horizontal axis, and a tolerance amount for a displacement of the filter 5 allowing an insertion loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  to increase by 0.5dB on the vertical axis. Clearly, the tolerance for the displacement of the filter is relaxed by enlarging the width of the waveguide in the intersection portion. Since waveguide having too large width actually tends to be in higher mode, it is appropriate that the width of the waveguide in the intersection portion is in the range from  $10\mu\text{m}$  to  $15\mu\text{m}$ .

[0032]

### Third Embodiment

An object of the optical transmitter/receiver module of the present invention is to lower the cost. Thus, it is also necessary to make the required PLC as small as possible, and to increase the number of modules which can be fabricated from one PLC wafer. For that purpose, in the present embodiment, the intersection portion of the two input/output optical waveguides and the Y-branch subsequently positioned thereof set forth in Second

Embodiment are integrated. Fig. 12 shows its general view, and Fig. 13 shows its enlarged view of the intersection portion. The widths of the first and second input/output optical waveguides 2, 3 are enlarged before the intersection section as shown by reference numerals 2B, 3B. Light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  passes the filter 5, and is branched into two optical waveguides 21A, 21B of a Y-branch 21. With this configuration, a Y-branch conventionally fabricated independently and positioned after the wavelength multiplexer/demultiplexer can be integrated with the wavelength multiplexer/demultiplexer. As a result, the area of the PLC can be reduced. Specifically, the PLC had a size of  $3\text{mm} \times 20\text{mm}$  when the intersection portion and the Y-branch of the wavelength multiplexer/demultiplexer were disposed independently, whereas the size of the PLC was reduced to  $3\text{mm} \times 15\text{mm}$  by integrating them, thereby increasing the number of modules fabricated from one PLC by a factor of 1.3.

[0033]

#### Fourth Embodiment

In the configuration of the first embodiment, light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  is totally reflected by the dielectric multilayer film filter 5, and scarcely leaks into the photodiode 8 for receiving light with wavelength

of  $1.3\mu\text{m}$ . In an actual fabricated module, crosstalk was -50dB. In contrast, a very large amount of light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  leaks into the second input/output optical waveguide 3. Leaked light with a maximum of about -20dB was measured in the actual fabricated circuit. This was due to imperfections of the dielectric multilayer film filter 5. However, it was difficult to reduce the amount of the leaked light essentially. Thus, in the present embodiment, a dielectric multilayer film filter for cutting off light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  was inserted in a part of the second input/output optical waveguide. Two types of methods for inserting the filter were conceived. Fig. 14 shows one method, and Fig. 15 shows the other method. In Fig. 14, a groove 4B was formed by processing, using a dicing saw, just like the intersection portion. A filter 21 for cutting off light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  intersects only the second input/output optical waveguide 3 without intersecting the first input/output optical waveguide 2. The groove 4A intersects the first input/output optical waveguides 2. However, the groove is filled with an adhesive, and a loss caused by this is very small.

[0034]

On the other hand, in the embodiment of Fig. 15, a

groove 4C for a filter 22 for cutting off light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  was formed by etching. This eliminates the need to create an unnecessary groove intersecting the first input/output optical waveguide 2. In either case of Fig. 14 or Fig. 15, crosstalk of light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  output from the second input/output optical waveguide was greatly reduced from -20dB in the case where a cut-off filter was not inserted to -45dB.

[0035]

Naturally, Y-branches in the configurations of Fig. 14 and Fig. 15 can also be integrated as shown in Fig. 13.

[0036]

While the embodiments of the present invention have been described above with respect to the case of using a silica-based waveguide, it is possible to apply the circuit of the present invention to any waveguide other than a silica-based waveguide such as a diffusion glass waveguide, a polymer waveguide, and a  $\text{LiNbO}_3$  waveguide.

[0037]

In addition, while the present invention has been described with respect to an optical transmitter/receiver module for transmitting/receiving light with wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  and for passing light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ ,

it is clear that the present invention can be used as an optical transmitter module or an optical wavelength multiplexer/demultiplexer for other wavelength ranges by replacing the dielectric multilayer film filter set forth in the embodiments.

[0038]

[Advantageous Results of the Invention]

As set forth above, the optical transmitter/receiver module of the present invention is low-cost and compact, and can be widely used as an optical terminal for home use.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1]

Fig. 1 is a schematic plan view of an optical transmitter/receiver module of a first embodiment of the present invention.

[Fig. 2]

Fig. 2 is an enlarged cross-sectional view taken along a line AA' of Fig. 1.

[Fig. 3]

Fig. 3 is an enlarged cross-sectional view taken along a line BB' of Fig. 1.

[Fig. 4]

Fig. 4 is an enlarged view of the periphery of a filter-inserted portion of the first embodiment.

[Fig. 5]

Fig. 5 is a graph showing a tolerance curve of an insertion loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  with respect to a filter groove, with a loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  on the vertical axis, and a distance between an intersection point of center lines of two input/output optical waveguides and a center line of the filter groove on the horizontal axis.

[Fig. 6]

Fig. 6 is an enlarged view of the periphery of the filter-inserted portion, in which a marker for filter groove processing is also shown.

[Fig. 7]

Fig. 7 is a graph showing tolerances for an insertion loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  with respect to the filter groove, obtained by varying an intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides.

[Fig. 8]

Fig. 8 is a graph showing tolerance amounts allowing an excess loss of light with wavelength of  $1.55\mu\text{m}$  to increase by 0.5dB, obtained by varying an intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides.

[Fig. 9]

Fig. 9 is a graph showing return losses of light with

wavelength of  $1.55\mu\text{m}$ , obtained by varying an intersection angle  $\theta$  between the two input/output optical waveguides.

[Fig. 10]

Fig. 10 is an enlarged cross-sectional view of the periphery of a filter-inserted portion of the second embodiment.

[Fig. 11]

Fig. 11 is a graph showing changes of tolerance amount for displacement of the filter, obtained by enlarging the widths of the two input/output optical waveguide in intersection portions.

[Fig. 12]

Fig. 12 is a schematic plan view showing a general view of a third embodiment.

[Fig. 13]

Fig. 13 is an enlarged view of the periphery of a filter-inserted portion of Fig. 12.

[Fig. 14]

Fig. 14 is a general view of a fourth embodiment.

[Fig. 15]

Fig. 15 is an overall view of another configuration example of the fourth embodiment.

[Fig. 16]

Fig. 16 is a plan view showing a conventional optical



transmitter/receiver module.

[REFERENCE NUMERALS]

1 Conventional Silicone-based Planar Lightwave Circuit (PLC)

2 First Input/Output Optical Waveguide

3 Second Input/Output Optical Waveguide

4, 4B, 4C Groove for Insertion of Dielectric Multilayer Film Filter

5 Dielectric Multilayer Film Filter for Passing Light with Wavelength of  $1.3\mu\text{m}$  and for Reflecting Light with Wavelength of  $1.55\mu\text{m}$

6, 21 Y-branch

7 Laser Diode

8 Photodiode

9A, 9B, 9C Glass Block for Fixing an Optical Fiber

10A, 10B Single-mode Optical Fiber

11 Silicone Substrate

12 Cladding Glass

13 Adhesive for Fixing a Dielectric Multilayer Film Filter

14 Center Line of a First Input Optical Waveguide

15 Center Line of a Second Input Optical Waveguide

16 Center Line of a Groove for Insertion of a Dielectric Multilayer Film Filter

17 Slit in a Portion Where a First Input/Output Optical

Waveguide and a Second Input/Output Optical Waveguide are  
in Contact with Each Other

18 Au Marker for Groove Processing

22 Dielectric Multilayer Film Filter for Reflecting  $1.3\mu\text{m}$   
Light and Passing  $1.55\mu\text{m}$  Light.

30 Silica-based Planar Lightwave Circuit According to the  
Present Invention

Fig. 1

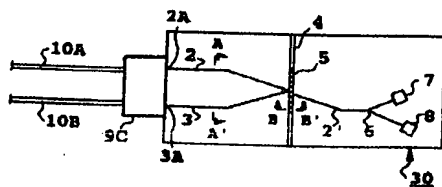


Fig. 2

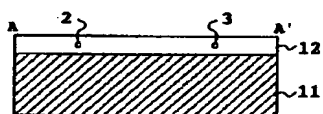


Fig. 3

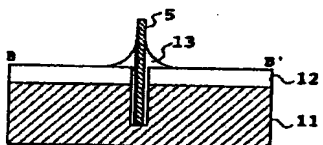


Fig. 4

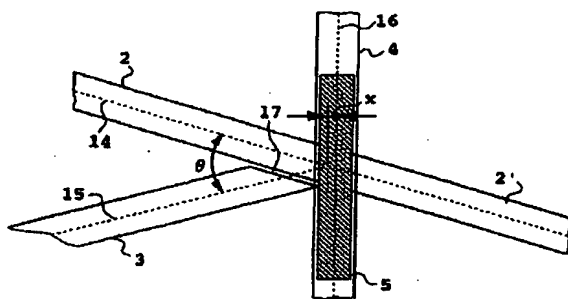
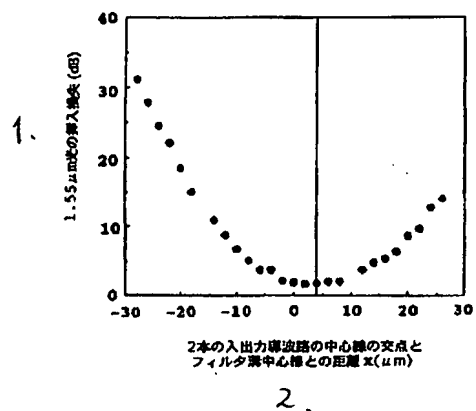


Fig. 5



1: INSERTION LOSS OF 1.55 $\mu\text{m}$  LIGHT (dB)

2: DISTANCE  $x$  BETWEEN INTERSECTION POINT OF CENTER LINES  
OF TWO INPUT/OUTPUT WAVEGUIDES AND CENTER LINE OF FILTER  
GROOVE ( $\mu\text{m}$ )

Fig. 6

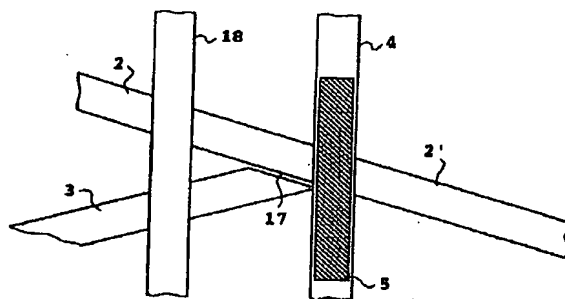
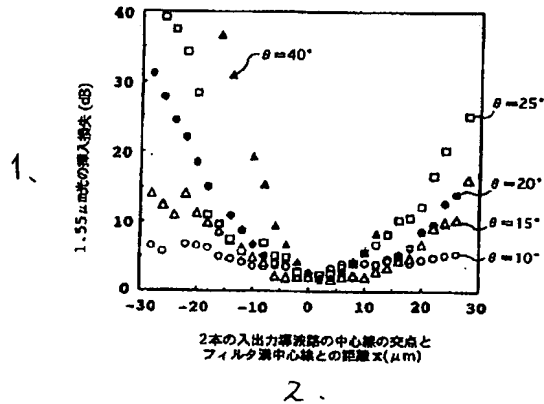
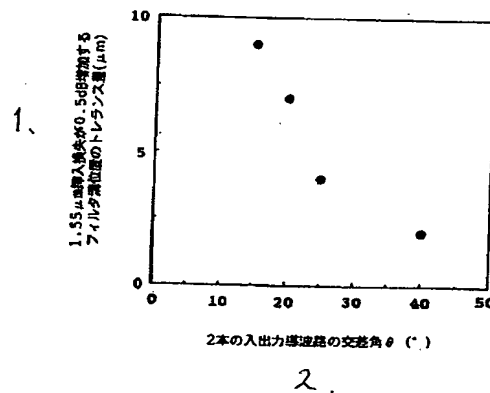


Fig. 7



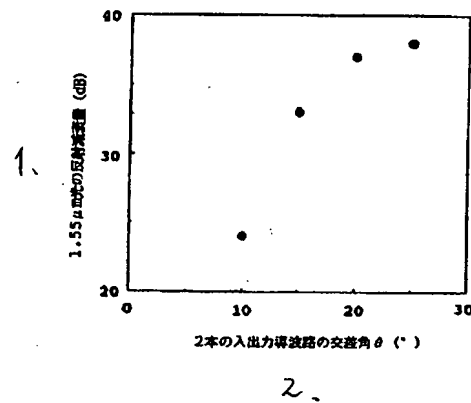
- 1: INSERTION LOSS OF 1.55 μm LIGHT (dB)
- 2: DISTANCE x BETWEEN INTERSECTION POINT OF CENTER LINES  
OF TWO INPUT/OUTPUT WAVEGUIDES AND CENTER LINE OF FILTER  
GROOVE (μm)

Fig. 8



- 1: TOLERANCE AMOUNT FOR POSITION OF FILTER GROOVE ALLOWING  
INSERTION LOSS OF 1.55 μm LIGHT TO BE INCREASED BY 0.5 dB  
(μm)
- 2: INTERSECTION ANGLE  $\theta$  BETWEEN TWO INPUT/OUTPUT  
WAVEGUIDES (DEGREE)

Fig. 9



1: RETURN LOSS OF 1.55μm LIGHT (dB)

2: INTERSECTION ANGLE  $\theta$  BETWEEN TWO INPUT/OUTPUT WAVEGUIDES (DEGREE)

Fig. 10

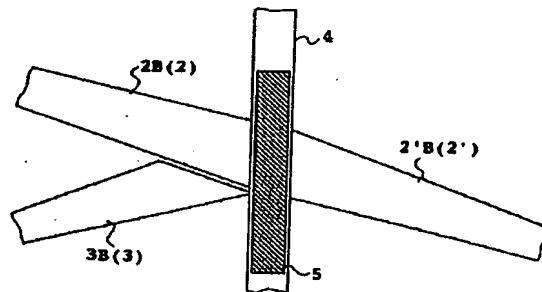
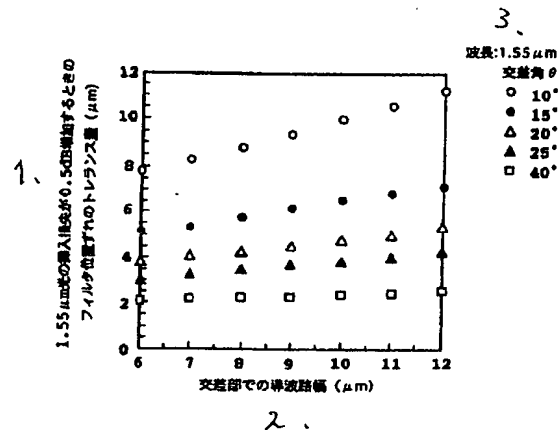


Fig. 11



1: TOLERANCE AMOUNT FOR DISPLACEMENT OF FILTER ALLOWING  
INSERTION LOSS OF 1.55 $\mu\text{m}$  LIGHT TO BE INCREASED BY 0.5dB  
( $\mu\text{m}$ )

2: WIDTH OF WAVEGUIDE AT INTERSECTION PORTION ( $\mu\text{m}$ )

3: WAVELENGTH: 1.55 $\mu\text{m}$

INTERSECTION ANGLE  $\theta$

Fig. 12

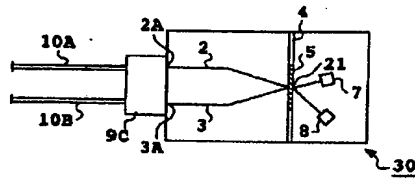


Fig. 13

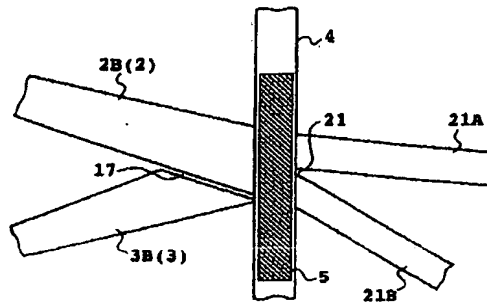


Fig. 14

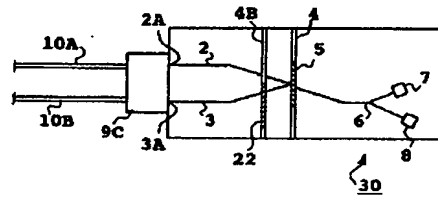


Fig. 15

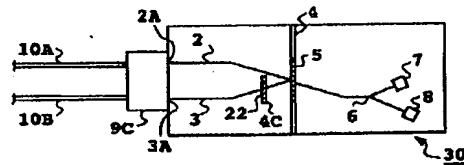
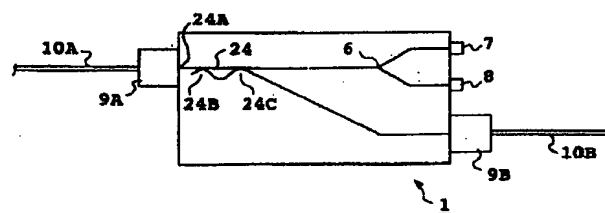


Fig. 16





(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-190026

(43)公開日 平成8年(1996)7月23日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/ 12

F

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-3335

(22)出願日 平成7年(1995)1月12日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 井上 靖之

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 河内 正夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 鬼頭 勤

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

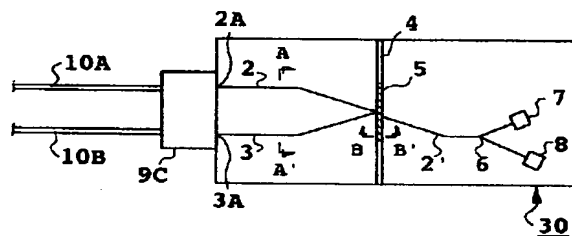
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光送受信モジュール

(57)【要約】

【構成】 波長1.55 $\mu$ mの光信号を透過し、波長1.3 $\mu$ mの光信号を送受信する平面光導波回路型の光送受信モジュールである。誘電体多層膜フィルタが平面光導波回路の基準平面に垂直に設置され、シングルモード光導波路は、一端が第1の光ファイバ接続部とつながった第1の入出力光導波路、一端が第2の光ファイバ接続部とつながり、多端が誘電体多層膜フィルタの表面またはその近傍で、分岐角15 $^{\circ}$ ~25 $^{\circ}$ で第1の入出力光導波路から分岐する第2の入出力光導波路からなり、第1の入出力光導波路は、誘電体多層膜フィルタに関して第2の入出力光導波路のない側でY分岐し、分岐された光導波路の各々にレーザダイオードまたはフォトダイオードが接続されている。

【効果】 低価格、かつコンパクトな光送受信モジュールが実現できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長  $1.55\mu\text{m}$  の光信号を透過し、かつ波長  $1.3\mu\text{m}$  の光信号を送受信する光送受信モジュールであって、

シングルモード光導波路、レーザダイオード、フォトダイオードおよび誘電体多層膜フィルタ、第 1 および第 2 の光ファイバ接続部を有する平面光導波回路型であり、前記誘電体多層膜フィルタは前記平面光導波回路の基準平面に実質的に垂直に設置され、前記シングルモード光導波路は、一端が前記第 1 の光ファイバ接続部とつながった第 1 の入出力光導波路、

一端が前記第 2 の光ファイバ接続部とつながり、多端が前記誘電体多層膜フィルタの表面または表面から  $8\mu\text{m}$  以内の点で、該誘電体多層膜フィルタの法線を中心線として分岐角  $15^\circ \sim 25^\circ$  で前記第 1 の入出力光導波路から分岐する第 2 の入出力光導波路からなり、該第 1 の入出力光導波路は、該誘電体多層膜フィルタに関して該第 2 の入出力光導波路のない側で Y 分岐し、分岐した光導波路の各々に前記レーザダイオードまたは前記フォトダイオードが接続されたことを特徴とする光送受信モジュール。

【請求項 2】 前記第 1 および第 2 の光ファイバ接続部が 2 芯の光ファイバアレイ接続部として一体化されたことを特徴とする請求項 1 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 3】 前記平面光導波回路の表面に溝が設けられ、前記誘電体多層膜フィルタは、該溝にシリコン系接着剤で固定されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光送受信モジュール。

【請求項 4】 前記第 1 の入出力光導波路と前記第 2 の入出力光導波路の交差部において、当該二つの入出力光導波路の間に  $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$  の隙間があることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 5】 前記溝の加工のためのマーカが、前記平面導波回路表面上で該溝の設置位置から離れた場所に設けられたことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 6】 前記第 1 の入出力光導波路の幅、および前記第 2 の入出力光導波路の幅が、相互の分岐点近傍で他の部分の幅よりも広がっていることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 7】 前記 Y 分岐部が誘電体多層膜フィルタ上にあることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

【請求項 8】 前記第 2 の入出力光導波路に波長  $1.3\mu\text{m}$  の光を遮断する誘電体多層膜フィルタが挿入されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の光送受信モジュール。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光通信用の光部品に関するものであって、さらに詳しくは、光加入者用（各家庭用）の光端末として光信号を送受信するためのモジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 最近、ビデオ信号やパソコンデータなどの大容量通信の大幅なコストダウンを目指して、各家庭への光ファイバ網の構築が本格的に検討されている。そこで直面している最も大きな問題の一つとして、各家庭に配置する光送受信モジュールの価格がある。従来、光通信は大容量の信号を通信するオフィスなどに使われていた。そのような用途では光送受信モジュールの価格が 100 万円オーダーでも需要があったが、各家庭に光送受信モジュールを配置するとなると、その価格が 1 万円オーダーにまで下がらなければ広く普及することは期待できない。このような背景の下で現在各家庭に配置する低価格な光送受信モジュールの開発が精力的に行われている。

【0003】 従来の光送受信モジュールはレンズなどの微小光学部品を使用したものが主流であった。その場合コストの大部分は各部品のアライメント工程にあった。そこで本発明者らはこれまで部品点数を減らしたプレーナ光波回路 (Planar Lightwave Circuit: PLC) を用いた光送受信モジュールの開発に取り組んできた。これまでに作製した光送受信モジュールを図 16 に示す。詳細は "Optical Module with a Silica-Based Planar Lightwave Circuit for Fiber-Optic Subscriber Systems", H. Teruie et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 4, 1992, pp. 660-662 に記述されている。ここでは簡単にその構成と原理を述べる。

【0004】 プレーナ光波回路 1 には入力側のシングルモード光ファイバ 10A、出力側のシングルモード光ファイバ 10B が、それぞれガラスブロック 9A、9B を介して固定されている。より詳しくは、光ファイバ 10A、10B はガラスブロック内に設けられた溝に挿入固定され、ガラスブロック 9A、9B は光ファイバ 10A、10B の光軸が光導波路 24、25 の光軸と一致するように、プレーナ光波回路 1 に接着固定されている。入力ポート 24A から入射した光は 2 つの方向性結合器 24B、24C を用いたマッハツェンダ干渉計型波長合分波器によって、 $1.3\mu\text{m}$  帯の光はスルーポートに、 $1.55\mu\text{m}$  帯の光はクロスポートに出力される。クロスポートに出力された  $1.55\mu\text{m}$  帯の光はそのまま導波路端でシングルモード光ファイバ 10B に結合され外部に出力される。一方波長合分波器のスルーポートに出

力された $1.3\mu\text{m}$ 帯の光はY分岐6で二分され、それぞれレーザダイオード7とフォトダイオード8に結合される。レーザダイオード7は受信者側からの送信信号の伝送用に、フォトダイオード8は受信した光信号の電気信号への変換用に、それぞれ供される。

【0005】ここで $1.55\mu\text{m}$ 帯の光は、例えば電話局から一般の家庭へ多チャンネルのビデオ信号を分配することに使用され、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光は各種のデータ信号の双方向通信に使われる。よって $1.55\mu\text{m}$ 帯の受信モジュールは大容量信号受信のため高価なものになる。現在目的としている光送受信モジュールはまず各種のデータ信号の送受信ができるものであるから、高価な $1.55\mu\text{m}$ 帯の光の受信器は外部に出して、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の比較的低速な光信号のみ送受信できる低価格なモジュールを目指す。ここで $1.55\mu\text{m}$ 光は大容量の信号を伝送するため、光送受信モジュールから出力されるときにはシングルモード光ファイバを使用しなければならないことをつけ加えておく。また $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号に関しては上りと下りを時間的に分離したピンポン方式を採用するためその近端反射に対する制限も緩い。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述の通りこれまで我々は各家庭用の低コストな光端末として、PLCを用いた光送受信モジュールを開発してきた。そこで最も大きな課題になったのがモジュールの大きさ、および光ファイバとPLCとの接続にかかるコストである。図16の構成では $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 用の入力光ファイバ10Aと $1.55\mu\text{m}$ 用出力ファイバ10BとがPLC1の対向する端面に配置されるため、全体としてのモジュールの大きさが大きくなってしまふ。また光ファイバとPLCとの接続を2回行なわなければならないという問題があった。

【0007】

【課題を解決するための手段】そこで本発明では、光送受信モジュールの大きさを小さくするために2本の入出力ファイバの配置を対抗する端面ではなく、同一の端面に配置した。そのために、PLCの波長合分波器としては $1.3\mu\text{m}$ の光は透過させて $1.55\mu\text{m}$ の光は反射させる構成とする。具体的には導波路にある角度で誘電体多層膜フィルタを挿入し、 $1.3\mu\text{m}$ 光はフィルタを透過させ、 $1.55\mu\text{m}$ 光はフィルタで反射させることによって2つの波長の光を分離する。

【0008】従来、誘電体多層膜フィルタの反射を用いた波長合分波器は、ファイバや導波路を用いたものが報告されている。例えば“Filter-Embedded Design and Its Applications to Passive Components,” H. Yanagawa et al., J. Lightwave Technol., Vol. 7, 1989, pp. 1646-1653、参照。しかしながらそ

れらはほとんどが反射された光をマルチモード光ファイバやマルチモード光導波路で受光しており、本発明のように反射された光をシングルモード光導波路に結合するものについてはほとんど報告例がない。その理由は誘電体多層膜フィルタで反射された光をシングルモード光導波路で結合することは非常に困難であったからである。本発明はフィルタで反射された光を如何に効率よくシングルモード光導波路に結合させるかについて、また、レーザダイオードやフォトダイオードの実装と適合するための接着剤について、実験的に最適な条件を求めたものである。

【0009】すなわち、本発明による光送受信モジュールは、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号を透過し、かつ波長 $1.3\mu\text{m}$ の光信号を送受信する光送受信モジュールであって、シングルモード光導波路、レーザダイオード、フォトダイオードおよび誘電体多層膜フィルタ、第1および第2の光ファイバ接続部を有する平面光導波回路型であり、誘電体多層膜フィルタは平面光導波回路の基準平面に実質的に垂直に設置され、シングルモード光導波路は、一端が第1の光ファイバ接続部とつながった第1の入出力光導波路、一端が第2の光ファイバ接続部とつながり、多端が誘電体多層膜フィルタの表面または表面から $8\mu\text{m}$ 以内の点で、誘電体多層膜フィルタの法線を中心線として分岐角 $15^\circ\sim 25^\circ$ で第1の入出力光導波路から分岐する第2の入出力光導波路からなり、第1の入出力光導波路は、誘電体多層膜フィルタに関して第2の入出力光導波路のない側でY分岐し、分岐した光導波路の各々にレーザダイオードまたはフォトダイオードが接続されたことを特徴とする。

【0010】第1および第2の光ファイバ接続部が2芯の光ファイバアレイ接続部として一体化されていてもよい。

【0011】平面光導波回路の表面に溝が設けられ、誘電体多層膜フィルタは、溝にシリコン系接着剤で固定されていてもよい。

【0012】第1の入出力光導波路と第2の入出力光導波路の交差部において、当該二つの入出力光導波路の間に $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ の隙間があってもよい。

【0013】溝の加工のためのマーカが、平面導波回路表面上で溝の設置位置から離れた場所に設けられていてもよい。

【0014】第1の入出力光導波路の幅、および第2の入出力光導波路の幅が、相互の分岐点近傍で他の部分の幅よりも広がっていてもよく、Y分岐部が誘電体多層膜フィルタ上にあってもよい。

【0015】第2の入出力光導波路に波長 $1.3\mu\text{m}$ の光を遮断する誘電体多層膜フィルタが挿入されていてもよい。

【0016】

【作用】本発明の光送受信モジュールは入力用および出

力用の光ファイバがPLCの同一端面に配置されているので、全体のサイズが小さくなるとともに、PLCと光ファイバとの接続が一回の作業で終了できる。この結果として従来よりも低コストでコンパクトな光送受信モジュールが実現できる。

【0017】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0018】実施例1

本実施例ではシリコン基板上に石英系のガラスを堆積させて作製した石英系プレーナ光波回路(PLC)、2本の光ファイバを対にした2芯の光ファイバアレイ、出力端面でのモードフィールドがシングルモード光ファイバのモードフィールドと一致するように設計されたレーザダイオード、導波型フォトダイオードを組み合わせる光送受信モジュールを作製した。石英系プレーナ光波回路はシリコン基板上に火炎堆積法と反応性イオンエッチング法で作製され、低損失でシングルモード光ファイバと整合性の良い光導波回路が実現されている。詳しくは、河内正夫「プレーナ光波回路」電学論C、113巻6号、平成5年、に記述されている。またPLCとレーザダイオードやフォトダイオードとの光学的な接続は、PLC基板であるシリコンテラスを用いて行った。その詳細はY. Yamada et al., *Electron. Lett.*, Vol. 29, 444, 1993に記述されている。

【0019】本実施例のPLC30の回路構成を図1に示す。また図1のAA'の拡大断面図を図2に、BB'の拡大断面図を図3に示す。

【0020】シリコン基板11上には、コア2、3および2'がクラッド12に覆われて形成され、シングルモード光導波路2、3および2'を構成している。コアとクラッドの比屈折率差は0.75%、コアサイズは7 $\mu$ m角である。光導波路2および3の交わる位置の近傍に溝4が設けられ、その中に誘電体多層膜5が挿入され、接着剤13で固定されている。誘電体多層膜5の、光導波路2、3と反対側に形成されている光導波路2'の光軸は光導波路2の光軸と一致しており、光導波路2'は光導波路2の一部をなしている。

【0021】プレーナ光波回路3には、入力用シングルモード光ファイバ10A、出力用光ファイバ10Bが固定用のガラスブロック9Bにより、それぞれ光導波路2、3と光軸を一致させて接続されている。入出力ポート2Aと3Aの距離は250 $\mu$ mとした。

【0022】光ファイバ10Aからの波長多重化された1.3 $\mu$ mおよび1.55 $\mu$ mの光が第1の入出力ポート2Aから第1の入出力光導波路2に入射され、1.55 $\mu$ mの光は誘電体多層膜フィルタ5で反射されて第2

の入出力光導波路3からシングルモード光ファイバ10Bに出力される。1.3 $\mu$ mの光は誘電体多層膜フィルタ5を透過し、図16の従来と同様にY分岐6で二分された後、それぞれレーザダイオード7とフォトダイオード8に結合する。

【0023】誘電体多層膜フィルタ5は1.3 $\mu$ mの光は透過して1.55 $\mu$ mの光は反射するように設計した。実際には厚み7 $\mu$ mのポリイミド薄膜にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>を交互に多層蒸着して9 $\mu$ mの厚みとし、全体のフィルタの厚みは16 $\mu$ mとした。一方、フィルタを挿入するための溝はダイシング・ソーによって加工しており、溝幅を18 $\mu$ m、溝深さを200 $\mu$ mとした。ここで溝幅を18 $\mu$ mとしたのは厚み16 $\mu$ mのフィルタをできるだけ基板に対して垂直に立てるために隙間を小さくするためである。厚み16 $\mu$ mのフィルタを使用する場合は17 $\mu$ mから20 $\mu$ mの溝幅が適している。また溝の深さに関しても浅くなればフィルタが傾きやすくなるため、可能であれば深いことが好ましい。しかし溝を深くすれば加工上、溝の入り口が広くなり易いため溝深さとしては100 $\mu$ m~300 $\mu$ mが適当である。

【0024】本実施例では、溝を市販のダイシング・ソー加工した後フィルタを挿入し、シリコン系の接着剤で固定した。ここでフィルタの固定に関してエポキシ系の接着剤に比べて通常2桁程度接着強度の弱いシリコン系の接着剤をあえて使用したのは、以下の理由による。本実施例の光送受信モジュールではフィルタの実装後にレーザダイオードやフォトダイオードをAuSnの半田によって固定するため、温度を300℃程度にまで上昇させる必要がある。この時にエポキシ系の接着剤は変質し、大きな収縮が発生する。そして溝の中で接着剤の剥離が生じる。その結果として反射が増加し光送受信モジュールとしての規格を充たさなくなる。これに比較してシリコン系の接着剤は接着強度は弱いものの300℃程度の温度で何の変化も起こらないため接着剤の剥離が生じることはない。もともとフィルタの溝への固定は外力のかからない部分なので強度的には弱くてもかまわない。そこで本実施例ではフィルタの固定にシリコン系の接着剤を使用した。実際に直線導波路に対して垂直に溝を加工し、上記誘電体多層膜フィルタをそれぞれエポキシ系の接着剤とシリコン系の接着剤で固定した後、1.3 $\mu$ m光のフィルタでの反射を300℃10分間の熱処理前後で測定した。結果を表1に示す。シリコン系の接着剤は熱処理によって反射が変化しないのに対して、エポキシ系の接着剤を用いた場合は大幅に反射が増加している。この理由は上述の通りエポキシ系の接着剤では300℃の高温で収縮が生じたためである。

【0025】

【表1】

	300℃10分の熱処理 前の反射減衰量	300℃10分の熱処理 後の反射減衰量
エポキシ系接着剤	21dB	5dB
シリコン系接着剤	20dB	20dB

【0026】フィルタ挿入部付近の導波路設計に関しては不確定な要素があるため実験的に求めた。図4にフィルタ挿入部付近の拡大図を示す。ここで第1の入出力光導波路2と第2の入出力光導波路3の間に幅2 $\mu$ mのスリット17を設けた。これはコアのパターン化後に上部クラッドガラスでコアを埋め込む工程で、2つの光導波路2、3の叉の部分に気泡が発生したりあるいはガラスの粗な部分が発生することを防ぐためである。実際にスリット17を設けなかった場合、2本の光導波路の叉の部分に気泡が生じることがあった。その確率は2本の導波路2、3の交差角 $\theta$ が10°程度と小さい時ほど顕著であった。今回幅2 $\mu$ mのスリットを設けることによって気泡の逃げ道を作り、上部クラッドガラスを狭い隙間まできれいに埋め込むことができた。隙間17の幅としてはコアガラスを加工するときのマスクの分解能より大きく、かつ光学的な損失がほとんど無視できる領域である1～5 $\mu$ mが適当である。

【0027】次に2本の入出力光導波路2、3の交差角 $\theta$ および誘電体多層膜フィルタ5を挿入するための溝4の位置について、実験的に最適な値を求めた。入出力ポート2Aから入出力ポート3Aに透過する1.55 $\mu$ mの光の損失を縦軸に、2本の入出力光導波路2、3の中心線14、15の交点と溝4の中心線16との距離xを横軸にとったグラフを図5に示す。ここで2本の入出力光導波路2、3の交差角 $\theta$ は20°とした。このグラフから2本の入出力光導波路の中心線14、15の交点と溝の中心線との距離xは4 $\pm$ 4 $\mu$ mの範囲が最適であることが分かる。ここで溝4の中心線16の位置というのはフィルタ5の厚さおよび溝4の幅に依存して変化するものであるから、2本の入出力光導波路の中心線の交点とフィルタの表面との距離に換算すれば-4 $\pm$ 4 $\mu$ m(0～-8 $\mu$ m)となる。本実施例ではこの値を使用してフィルタ挿入用溝の加工を行った。

【0028】図5から分かるように、溝の位置は1.55 $\mu$ mの光の損失に大きく影響する。そこで溝の位置を再現性良く加工するために、本実施例では溝のマーカを上部クラッドガラス表面に金属薄膜を蒸着して作成した。金属薄膜を用いてマーカを作成したのは、コアガラスでマーカを作成した場合に比べて見やすいためである。金属薄膜を作成する工程はレーザダイオードやフォトダイオードの電気配線にも使用するため、両者を同時に行うことによってプロセス工程を増やさなくて済む。ここで強調したいのは、金属薄膜で作成したマーカが導

波路表面にある場合、その部分をダイシング・ソーで加工するとその金属が加工した溝の内壁に付着したり、金属がダイシング・ソーの歯の間に詰まることによって、その加工精度が劣化するという問題が生じたことである。そこでこれらの問題を解決するために、本実施例では溝の中心線に対して-50 $\mu$ mずらした位置に金属薄膜から成るマーカを作成した。市販のダイシング・ソーには切断位置を精度良く移動させる機能があるため、金属薄膜から成るマーカで位置合わせを行い、その後50 $\mu$ m切断位置を移動して溝の加工を行った。図6にマーカ18を含む図を示す。本実施例ではマーカ用金属薄膜としてAuを用いた。

【0029】2本の入出力光導波路2、3の交差角度 $\theta$ に関しては、交差角度 $\theta$ を変えて溝の位置に対する1.55 $\mu$ m光の損失を実験的に求めた。結果を図7に示す。交差角度 $\theta$ が大きいほど溝の位置ズレに対する過剰損失が大きくなっている。この結果から溝位置の加工誤差に対するトレランスを緩くするためには、交差角 $\theta$ を小さくすることが有効であることが分かる。溝の位置ズレによる過剰損失が0.5dBとなる位置ズレ量を縦軸に、交差角 $\theta$ を横軸に表したグラフを図8に示す。ダイシング・ソーの溝の加工位置精度が3 $\mu$ m程度であることを考慮すると、交差角 $\theta$ としては25°以下が好ましいことが分かる。さらに第1の入出力ポート2Aでの1.55 $\mu$ m光の反射減衰量を縦軸に、交差角 $\theta$ を横軸にとったグラフを図9に示す。このグラフから交差角 $\theta$ が大きくなるにつれて反射減衰量の値が大きくなることが分かる。1.55 $\mu$ m光にアナログ信号を用いる場合反射減衰量は30dB以上が求められることから、交差角 $\theta$ としては15°以上であることが好ましい。以上、フィルタ挿入用溝位置精度と反射減衰量の観点から、2本の入出力光導波路2、3の交差角度 $\theta$ は15°～25°が適している。

【0030】このようにして作成した本実施例の光送受信モジュールの1.55 $\mu$ m光の第1の入出力ポート2Aから第2の入出力ポート3Aへの挿入損失は、シングルモードファイバとの接続損失まで含めて1.5dBであった。またそのときの反射減衰量は38dBであった。また第1の入出力ポート2Aからフォトダイオード8までの挿入損失は、Y分岐6による3dBの原理損失を含めて3.8dBであった。

【0031】実施例2

実施例1で述べたように1.55 $\mu$ m光の過剰損失はフ

フィルタ挿入溝の位置精度に強く依存している。その位置精度を緩くするために本実施例では導波路交差部付近で導波路の幅を広くした。交差部の拡大図を図10に示す。2B、3Bおよび2'Bはそれぞれ光導波路2、3および2'の拡幅部である。交差部以外の場所では導波路幅は7 $\mu$ mで、交差部直前に徐々にその幅を変化させ、交差部では6 $\mu$ mから12 $\mu$ mとした。横軸に交差部での導波路幅をとり、縦軸に1.55 $\mu$ m光の挿入損失が0.5dB増加する時のフィルタ5の位置ズレのトレランス量をとる。これを交差角 $\theta = 10^\circ \sim 40^\circ$ で変化させた計算結果を図11に示す。明らかに交差部における導波路幅を広くすることによってフィルタの位置ズレに対するトレランスが緩くなっている。実際の導波路では導波路幅を広くし過ぎると高次モードが立ちやすくなってしまうため、交差部での導波路幅として10 $\mu$ m~15 $\mu$ mが適当である。

#### 【0032】実施例3

本発明の光送受信モジュールは低価格を目的としているため、必要なPLCの大きさをできるだけ小さくし、一枚のPLCのウェハから作成できるモジュールを多くすることも必要である。そのために本実施例では実施例2で述べた2本の入出力光導波路の交差部とその後段に位置するY分岐とを一体化させた。その全体図を図12に、交差部の拡大図を図13に示す。第1および第2の入出力光導波路2、3は2B、3Bで示すように、交差部の手前でテーパーによってその幅が広げられる。その後1.3 $\mu$ m光はフィルタ5を透過してY分岐21の2本の光導波路21A、21Bに分岐される。この構成をとることによって、従来波長合分波器の後に独立して作成されたY分岐を波長合分波器と一体化させることができる。その結果PLCの面積を小さくすることができる。具体的には、波長合分波器としての交差部とY分岐を独立に配置した場合PLCのサイズが3mm $\times$ 20mmだったものを、それらを一体化することによって3mm $\times$ 15mmにまで縮小できた。これによって一枚のPLCから作成できるモジュールの数は1.3倍になった。

#### 【0033】実施例4

実施例1の回路構成では1.55 $\mu$ m光は誘電体多層膜フィルタ5によって完全に反射されて、1.3 $\mu$ m光受光用のフォトダイオード8へはほとんど漏れ込まない。実際に作成した結果はクロストーク-50dBであった。これに対して1.3 $\mu$ mの光が第2の入出力光導波路3に漏れ込む量はかなり多い。実際に作成した回路では最大-20dB程度の漏れ光が観測された。これは誘電体多層膜フィルタ5の不完全性であるが、本質的にこの値を低減することは困難である。そこで本実施例では第2の入出力光導波路の一部に1.3 $\mu$ m光をカットする誘電体多層膜フィルタを挿入した。フィルタの挿入方法として2種類のものを作成した。そのひとつを図14に、他方を図15に示す。図14では交差部と同様にダ

イシング・ソーを使用して溝4Bを加工した。この時1.3 $\mu$ m光をカットするためのフィルタ21は第1の入出力光導波路2に交差しないよう第2の入出力光導波路3にのみ交差させる。溝4Aは第1の入出力光導波路2を横切るが、溝内には接着剤が充填され、そのための損失は微小である。

【0034】一方、図15の実施例では1.3 $\mu$ m光カットフィルタ22用の溝4Cをエッチングによって加工した。この場合第1の入出力光導波路2に不要な溝を発生させなくて済む。図14、図15いずれの場合においても第2の入出力光導波路から出力される1.3 $\mu$ mのクロストークは、カットフィルタを入れない場合の-20dBから-45dBへと格段に低減することができた。

【0035】図14および図15の構成において、図13に示すように、Y分岐を一体化することも、勿論可能である。

【0036】以上、本発明の実施例を石英系導波路を用いた場合について説明してきたが、本発明の回路は石英系導波路以外の拡散ガラス導波路、ポリマー導波路、LiNbO<sub>3</sub>導波路などいかなる導波路に対しても適用可能である。

【0037】また本発明では1.3 $\mu$ m光を送受信し、1.55 $\mu$ m光は透過する光送受信モジュールに関して説明を行ったが、実施例で示した誘電体多層膜フィルタを入れ換えることによってそれ以外の波長領域の光送受信モジュール、あるいは光波長合分波器としても使用し得ることは明らかである。

#### 【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光送受信モジュールは低価格、コンパクトであるため家庭用光端末として広く使用されることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例としての光送受信モジュールの模式的平面図である。

【図2】図1のAA'線の拡大断面図である。

【図3】図1のBB'線の拡大断面図である。

【図4】実施例1のフィルタ挿入部付近の拡大図である。

【図5】1.55 $\mu$ m光の挿入損失のフィルタ溝に対するトレランスカーブであり、縦軸を1.55 $\mu$ m光の損失、横軸を2本の入出力光導波路の中心線の交点とフィルタ用溝の中心線との距離としたグラフである。

【図6】フィルタ溝加工用のマーカを含むフィルタ挿入部付近の拡大図である。

【図7】2本の入出力光導波路の交差角 $\theta$ を変えたときの、1.55 $\mu$ m光挿入損失のフィルタ溝に対するトレランスを示すグラフである。

【図8】2本の入出力光導波路の交差角 $\theta$ を変えたときの1.55 $\mu$ m光の過剰損失が0.5dB増加するトレ

11

ランス量を示すグラフである。

【図9】2本の入出力光導波路の交差角 $\theta$ を変えたときの1.55 $\mu\text{m}$ 光の反射減衰量を示すグラフである。

【図10】第2の実施例のフィルタ挿入部付近の拡大断面図である。

【図11】2本の入出力光導波路の交差部における導波路幅を広げたときの、フィルタ位置ズレのトレランス量の変化を示すグラフである。

【図12】第3の実施例の全体図を示す模式的平面図である。

【図13】図12のフィルタ挿入部付近の拡大図である。

【図14】第4の実施例の全体図である。

【図15】第4の実施例の他の構成例の全体図である。

【図16】従来技術の光送受信モジュールを示す平面図である。

【符号の説明】

- 1 従来の石英系プレーナ光波回路(PLC)
- 2 第1の入出力光導波路
- 3 第2の入出力光導波路

12

\* 4, 4B, 4C 誘電体多層膜フィルタ挿入用溝

5 1.3 $\mu\text{m}$ 光を透過し1.55 $\mu\text{m}$ 光を反射する誘電体多層膜フィルタ

6, 21 Y分岐

7 レーザダイオード

8 フォトダイオード

9A, 9B, 9C 光ファイバ固定用ガラスブロック

10A, 10B シングルモード光ファイバ

11 シリコン基板

12 クラッドガラス

13 誘電体多層膜フィルタ固定用接着剤

14 第1の入出力光導波路の中心線

15 第2の入出力光導波路の中心線

16 誘電体多層膜フィルタ挿入用溝の中心線

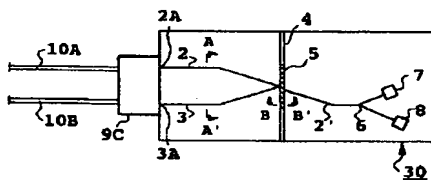
17 第1の入出力光導波路と第2の入出力光導波路が接する部分でのスリット

18 溝加工用のAuマーカ

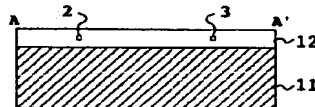
22 1.3 $\mu\text{m}$ 光を反射し1.55 $\mu\text{m}$ 光を透過する誘電体多層膜フィルタ

\* 20 30 本発明による石英系プレーナ光波回路

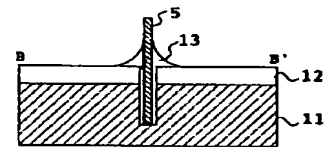
【図1】



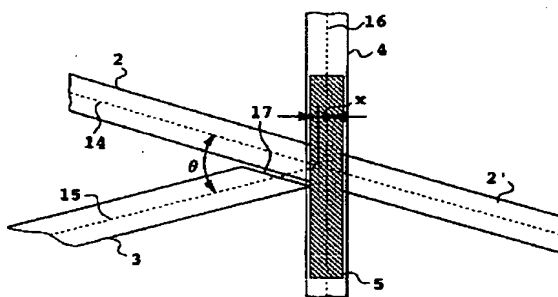
【図2】



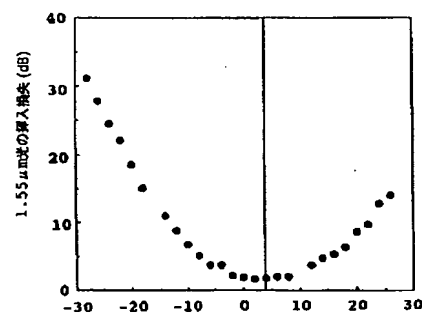
【図3】



【図4】

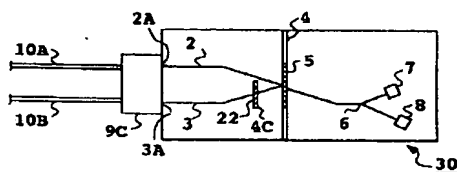


【図5】

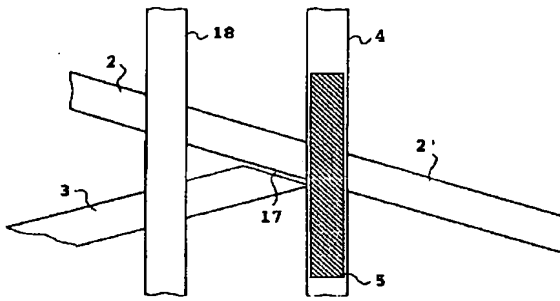


2本の入出力導波路の中心線の交点と  
フィルタ溝中心線との距離  $x(\mu\text{m})$

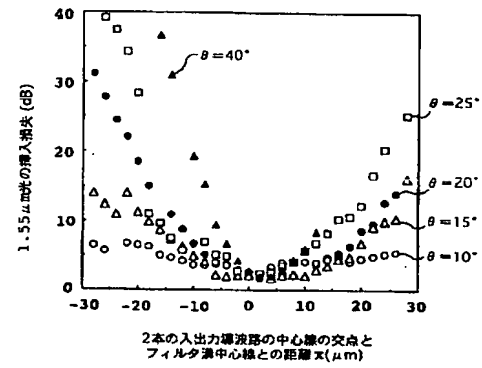
【図15】



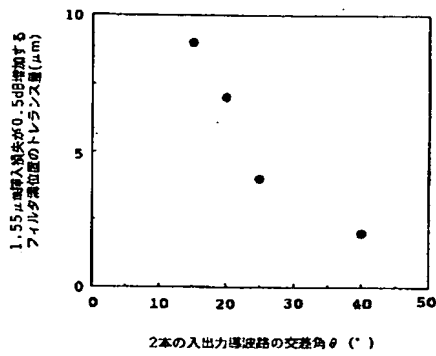
【図6】



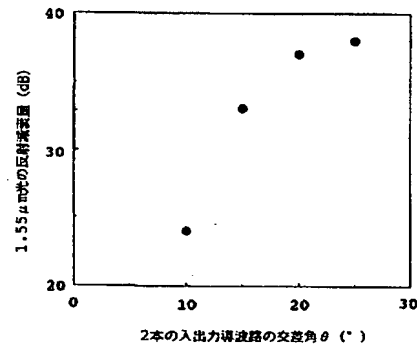
【図7】



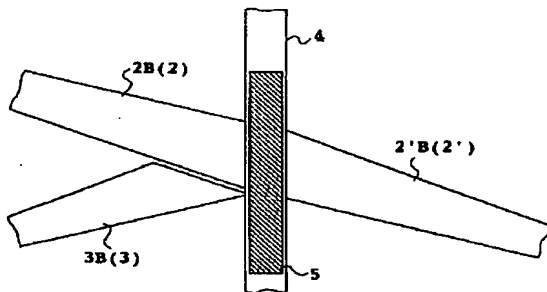
【図8】



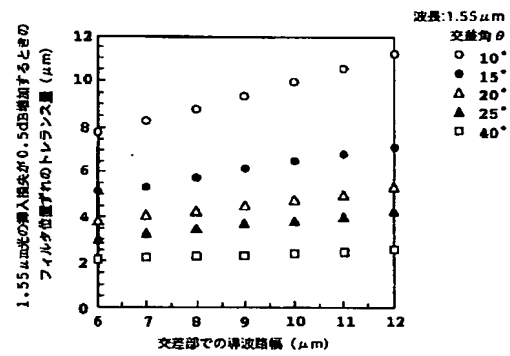
【図9】



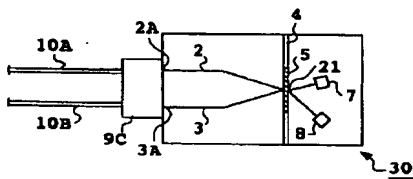
【図10】



【図11】

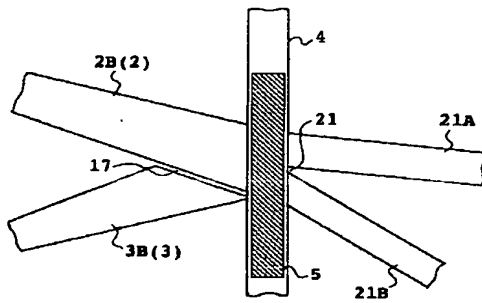


【図12】

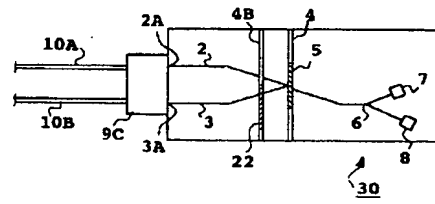




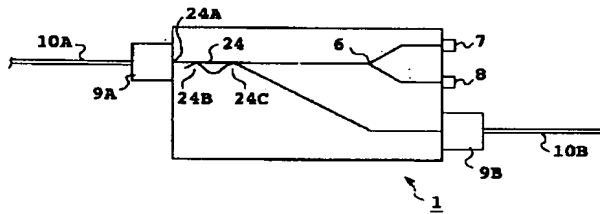
【図13】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 扇太  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 小口 泰介  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**